View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by Repositorio Academico Digital UANL

CAMBIO CLIMÁTICO MUNDIAL: ORIGEN Y CONSECUENCIAS

MARTHA GONZÁLEZ E.*, ENRIQUE JURADO**, SOCORRO GONZÁLEZ E.*, ÓSCAR AGUIRRE C.**, JAVIER JIMÉNEZ P.**, JOSÉ NAVAR**

Calentamiento global y cambio climático son conceptos estrechamente interrelacionados que en ocasiones son confundidos o utilizados como sinónimos. Son fenómenos provocados total o parcialmente por el aumento en la concentración de gases de invernadero en la atmósfera, principalmente el CO_2 relacionado directa o indirectamente con actividades humanas como el uso de combustibles fósiles y deforestación. Estudios científicos indican que el cambio climático ya está teniendo efectos sobre la biosfera.[1,2,3,4] Por su origen relacionado con actividades humanas y porque afectan la vida en todo el planeta, estos problemas ambientales deben ser conocidos y entendidos, no sólo por técnicos y científicos, sino también por la población en general. Con este documento se pretende proporcionar de manera concisa un panorama general de un problema sumamente grave.

Dividimos este escrito en cinco secciones que pueden leerse de manera independiente, con el fin de facilitar la revisión ágil del mismo: a) Principios fundamentales: se comentan hechos conocidos y aceptados por la comunidad científica internacional; b) Conceptos clave: constituye una breve explicación del significado de algunos tópicos relacionados con el tema; c) Estado del conocimiento: se discuten brevemente las diferentes perspectivas desde las que se está abordando en la actualidad esta problemática; d) Prioridades en la investigación: se sugieren líneas de investigación prioritarias en biología y ecología y; e) Lecturas recomendadas: pretende proporcionar al lector una guía sobre algunas fuentes de información que en conjunto constituyen una confiable y amplia panorámica de lo que se conoce en la actualidad sobre este tema.

Principios fundamentales

Factores determinantes del clima global

El clima global de un planeta está determinado por su masa total, su distancia respecto al sol y la composición de su atmósfera. De acuerdo con los dos primeros factores, se estima que la temperatura media de la Tierra sería de aproximadamente –18°C[5]. Sin embargo, afortunadamente para nosotros, la temperatura media de la Tierra es 33°C más alta, es decir, alrededor de 15°C[5]. Esto debido a la presencia en la atmósfera de pequeñas cantidades de vapor de agua (0 – 2 %), de CO_2 (0.03 a 0.04%), así como de muy pequeñas cantidades de otros gases que absorben parte de las radiaciones térmicas de la superficie terrestre e impiden que escapen hacia el espacio exterior, constituyendo así el *efecto de invernadero* natural de nuestro planeta.[6] La variabilidad climática de la Tierra, por otra parte, está determinada por tres factores: la variación en la concentración de gases de invernadero, actividad solar y actividad volcánica.[7]

La temperatura media mundial ha aumentado en el último siglo

Estudios recientes revelan que el clima mundial del último siglo ha sido particularmente inusual[7,8,9,10,11] Jacoby y cols.[3], mediante análisis de anillos de crecimiento de pinos en Mongolia, encontraron que los cambios de temperatura regional mostrados en

* Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR Durango y COFAA); Programa Doctoral FCF-UANL; SEP-SUPERA 4860.
** Facultad de Ciencias Forestales, UANL-Linares. Profesores del doctorado en manejo de recursos naturales

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

los anillos de crecimiento eran notablemente similares a los cambios encontrados en otras regiones del mundo. Sus resultados muestran que a partir de fines del siglo XIX la temperatura mundial aumenta progresivamente, de manera inusual con relación a los últimos 450 años. Mann y cols.,[7,9] mediante la reconstrucción de la temperatura media mundial de los últimos 600 y 1000 años respectivamente, y mediante análisis de tendencias de las tres principales fuerzas que determinan la variabilidad del clima del planeta (actividad solar, actividad volcánica y concentración de gases de invernadero), encontraron que los tres factores han jugado un papel importante en la variabilidad climática mundial en los últimos siglos, pero que la concentración de gases de invernadero se convirtió en el factor principal durante el siglo XX. Encontraron también que la temperatura media anual en el hemisferio norte, durante cuatro años de la última década del siglo XX (1990, 1995, 1997 y 1998), alcanzó los niveles más altos en el último milenio. Sus resultados también sugieren que el calentamiento global registrado en el siglo XX se contrapone a la tendencia general de enfriamiento del último milenio (figura 1).

El aumento de temperatura, o calentamiento global, desencadena otra serie de cambios

El calentamiento mundial registrado en el siglo XX se relaciona con una serie de cambios registrados en otros factores climáticos, así como en el ciclo hidrológico y otros ciclos biogeoquímicos del planeta. Durante el último siglo ha habido disminución de la superficie terrestre cubierta por nieve o hielo; se ha reducido el tiempo en que algunos lagos y ríos permanecen congelados durante el año; se registró un aumento en el nivel medio del mar; ha habido cambios en los patrones de precipitación, velocidad de los vientos, nubosidad y en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos.[10] Fenómenos internos del sistema climático, como "El Niño" y su complemento "La Niña", han aumentado su frecuencia e intensidad durante el siglo XX.[11,12]

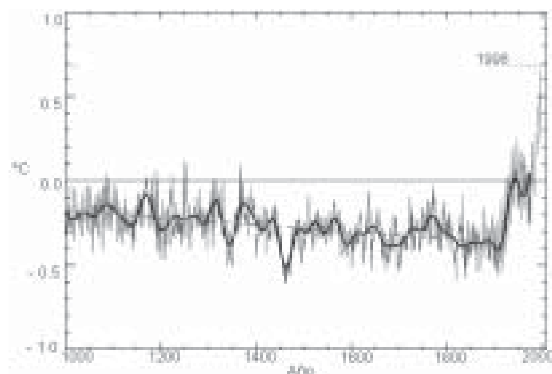


Fig. 1. Reconstrucción de las anomalías en la temperatura media anual de la superficie terrestre en el Hemisferio Norte durante el último milenio (año 1000 a 1980); misma reconstrucción suavizada mediante una media móvil de 40 años; datos meteorológicos de 1902 a 1999; y tendencia lineal del año 1000 a 1900. Se aprecia claramente que la temperatura en el último siglo ha aumentado de manera inusual contraponiéndose a la tendencia a la baja que se observa hasta 1900. (Fuente: Adaptación de la figura de Mann y cols.[7] publicada en la página del IPCC[20]).

La concentración de gases de invernadero ha ido aumentando desde finales del siglo XIX

La concentración de CO_2 atmosférico (principal gas de invernadero después del vapor de agua, y el más importante de los relacionados con actividades humanas) ha aumentado en los últimos 250 años: de 280 ppm en 1750 a 353 ppm en 1990, y sigue en aumento a una tasa de 1.8 ppm por año.[13] Se estima que alcanzará entre 550 y 700 ppm para el año 2050[14] (figura 2).

El clima inusual en el siglo XX y el aumento en la concentración de gases de invernadero en la atmósfera están relacionados

Varios estudios científicos,[15,16] con modelos generales de circulación, indican que parece existir una correlación entre el calentamiento global y el aumento de gases de invernadero en la atmósfera. Algunos autores[5,9,26] afirman que el aumento de CO_2 proveniente de las actividades humanas es la principal causa del cambio climático; y otros[17] consideran que la causa más probable es una combinación entre la variabilidad natural del clima y la que tiene su origen en actividades del *Homo sapiens*.

El cambio climático tiene efectos sobre los seres vivos

Recientes revisiones[1,4,26] y metaanálisis[2,3] de la gran cantidad de información científica disponible indican que en la actualidad ya existen claras evidencias de que el cambio climático está teniendo efec-

tos sobre especies animales y vegetales y sobre los ecosistemas. Los efectos del cambio climático sobre los seres vivos, según Hughes,[1] se pueden clasificar en cuatro categorías (figura 3): 1) fisiológicos (fotosíntesis, respiración, crecimiento); 2) distribución geográfica (tendencia de algunas especies a desplazarse hacia mayores altitudes o hacia los polos); 3) fenológicos (alteración de ciclo de vida por efecto de foto-período, horas/frío, etc.); y 4) adaptación (cambios micro-evolutivos *in situ*). A esto habría que agregar que muchas especies, sobre todo aquéllas de distribución restringida, incrementarán su riesgo de extinción y algunas de hecho se extinguirán por efecto directo del cambio climático.[5,18,19]

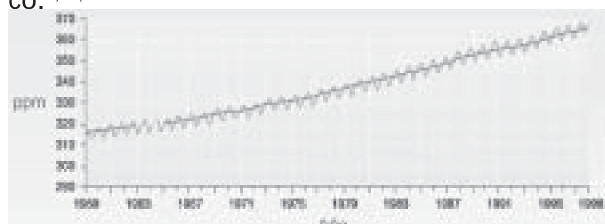


Fig. 2. Concentración de CO_2 en la atmósfera desde 1958 registrada en el observatorio del Monte Mauna Loa en Hawaii. Los registros de este observatorio alejado de fuentes de contaminación muestran claramente que la concentración de CO_2 en la atmósfera ha aumentado en aproximadamente un 15% en cuatro décadas (de 316 ppm en 1958 a 369 ppm en 1998). La variación anual está relacionada con la mayor captación de CO_2 por las plantas durante la estación de crecimiento. (Fuente: adaptada de una figura de la Universidad de California publicada en la página del IPCC[20]

Conceptos clave

Calentamiento global. Aumento progresivo y gradual de la temperatura media de la superficie terrestre, responsable de los cambios en los patrones climáticos mundiales. Aunque en el pasado geológico se ha presentado aumento de temperatura global como resultado de influencias naturales, el término *calentamiento global* se utiliza más para referirse al calentamiento de la superficie terrestre, registrado desde principios del siglo XX y relacionado con el incremento en la concentración de los gases de invernadero en la atmósfera.

Cambio climático. El clima nunca es estático, ya que presenta fluctuaciones cíclicas anuales y de mayor periodicidad, así como variaciones ocasionales debidas a fenómenos naturales como la erupción de volcanes. Sin embargo, el uso más apropiado y convencional del término “cambio climático” es para descubrir el cambio significativo que se presenta en la actualidad y que no parece relacionarse con las variaciones cíclicas. El cambio climático es provocado por el calentamiento global que a su vez tiene su origen total o parcial en el aumento de gases de invernadero en la atmósfera, incide sobre los patrones de temperatura y precipitación del planeta, así como en la frecuencia y severidad de eventos extremos como huracanes y sequías (figura 3).

Secuestro de CO_2. Procesos mediante los cuales se capta y se almacena mayor cantidad de CO_2 de la atmósfera de la que se libera hacia la misma. El tiempo de almacenaje en el que dicho carbono no vuelve a la atmósfera varía: durante la fotosíntesis las plantas absorben CO_2, liberan el oxígeno y almacenan el carbono en forma de biomasa hasta el momento de su descomposición. Si en lugar de descomponerse las plantas se convierten en combustibles fósiles, pueden continuar almacenando carbono durante siglos.

Resumideros de carbono. En estos depósitos en donde el carbono se capta de la atmósfera y se mantiene secuestrado por muy largo tiempo. Los grandes resumideros de carbono del planeta son los bosques (principalmente la biomasa de árboles de vida larga y la materia orgánica del suelo) y los océanos (formación y mantenimiento de plancton, así como carbono precipitado al fondo del mar). Los resumideros de carbono pueden servir para mitigar parcialmente las emisiones antropogénicas de gases de invernadero.

Gases de invernadero. Cualquier gas en la atmósfera que absorbe radiaciones infrarrojas: vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), oxido nitroso (N_2O), fluorocarbonos halogenados (HCFCs), ozono (O_3), hidrofluorocarbonos (HFCs), entre otros.

Efecto de invernadero. Proceso natural de calentamiento global en el cual algunos gases presentes en la atmósfera actúan como una capa que, de manera similar a los vidrios de un automóvil cerrado, es a la vez: 1) transparente a las radiaciones solares de onda corta, permitiendo su entrada a la

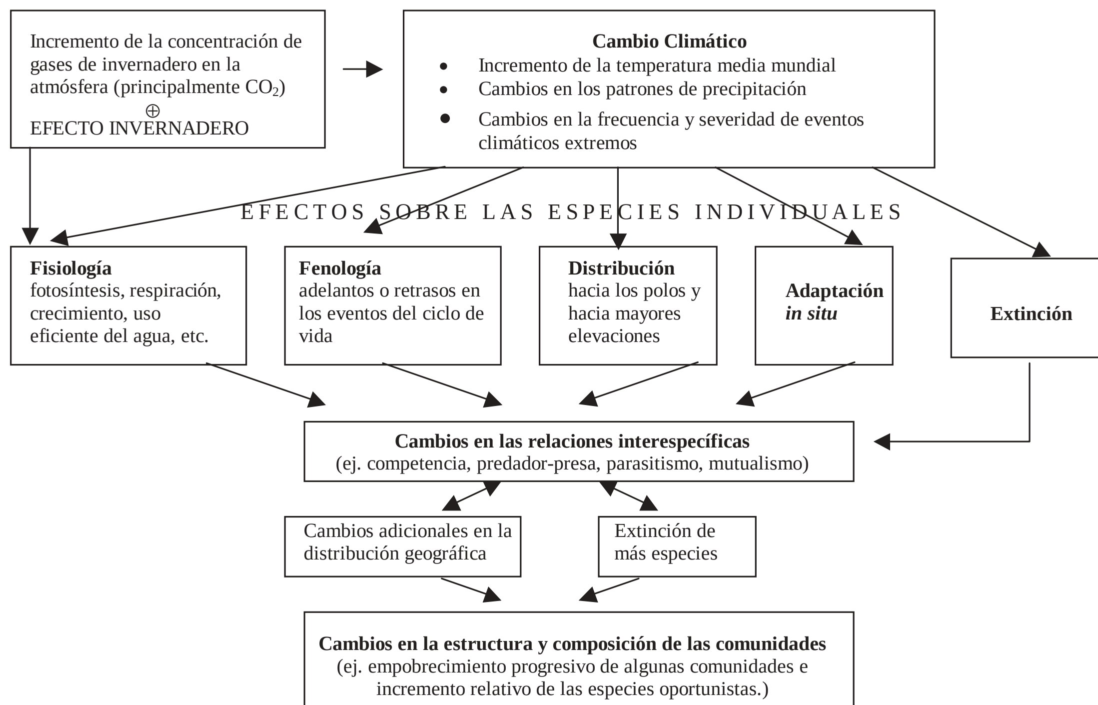


Fig.3. Vías potenciales del cambio en las comunidades y de la extinción de especies por efecto del incremento de gases de invernadero en la atmósfera. El aumento en la concentración de CO_2 en la atmósfera afecta algunos procesos fisiológicos de manera directa, y de manera indirecta a través de los efectos del cambio climático. La extinción de especies también puede presentarse como resultado directo del cambio climático o como consecuencia secundaria por los efectos del cambio climático sobre las relaciones inter- específicas. (Fuente: Adaptación de Hughes, 2000[1]).

superficie terrestre, pero 2) opaca a las radiaciones térmicas de onda larga emanadas de la superficie terrestre, evitando que estas escapen al espacio exterior. A causa del efecto invernadero natural, la superficie terrestre se calentó lo suficiente para permitir el origen y el mantenimiento de la vida en el planeta. Sin embargo, de seguir aumentando la concentración de los gases de invernadero en la atmósfera, la superficie terrestre sufrirá un calentamiento adicional cuyas consecuencias aún no se conocen con precisión.

El Niño-La Niña. Importante fenómeno interno del sistema climático mundial de frecuencia e intensidad variable y cuyo principal detonante es el almacenamiento de calor en el Pacífico tropical. Durante El Niño, el calor acumulado en el Pacífico tropical se distribuye hacia otras latitudes y hacia la atmósfera mediante corrientes marinas, vientos, precipitaciones intensas y evaporación, llegando a provocar aumentos importantes en la temperatura media mundial durante los meses posteriores a cada evento. Durante su complemento, La Niña, cuando las intensas lluvias disminuyen, se empieza a "recargar" nuevamente de calor el Pacífico tropical. La mayor frecuencia de estos fenómenos, registrada en las últimas décadas, podría estar relacionada con el menor tiempo necesario para la "recarga" de calor en el Pacífico tropical debido al calentamiento global.

Modelos climáticos. Representaciones matemáticas de las interacciones de la atmósfera, océanos, superficie terrestre y glaciares que simulan el clima real o potencial.

Estado del conocimiento

Aunque para la mayor parte de la comunidad científica el cambio climático global en el último siglo es una realidad indiscutible, aún no existe consenso con respecto a los agentes que lo originan. Hay quienes consideran que estamos ante un evento natural que es parte de un ciclo y que durará unas dos décadas más. Para la mayoría, sin embargo, el cambio climático tiene su origen total o parcial en

las actividades humanas, particularmente en las emisiones de carbono a la atmósfera por el uso de combustibles fósiles y por la deforestación. Si no existe consenso en cuanto a las causas que originan el cambio climático, mucho menos lo hay acerca de los efectos que éste puede tener sobre la vida en el planeta.

Perspectiva política

El cambio climático global es un fenómeno que afecta al planeta entero de manera aún muy poco conocida, por ello se está abordando desde la perspectiva política como un problema internacional. En 1988, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Meteorológica Mundial[1] establecieron en conjunto el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés[2]). Los propósitos con los que se creó el IPCC son: evaluar el estado del conocimiento científico sobre diversos aspectos del cambio climático, evaluar los impactos ambientales y socioeconómicos y analizar estrategias de mitigación.[20] El IPCC se reconoce internacionalmente como la autoridad científica y técnica sobre cambio climático, y sus evaluaciones tienen gran influencia en las negociaciones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático[3] y su protocolo de Kyoto.

Perspectiva científica

Por otro lado, desde la perspectiva científica, existe una enorme cantidad de esfuerzos para el estudio del cambio climático, para entender su origen ypara calcular sus impactos actuales y potenciales. En 1986 se estableció el programa internacional de investigación científica Geosfera-biosfera (IGBP, por sus siglas en inglés), uno de cuyos proyectos centrales es el Global Change and Terrestrial Ecosystem (GCTE), cuyos objetivos científicos son predecir los efectos de los cambios en el clima, la atmósfera y el cambio de uso de suelo en los ecosistemas terrestres; y determinar cómo estos efectos intervienen en la retroalimentación entre la atmósfera y el clima.[21] En 1992, 16 países de América firmaron un acuerdo internacional para establecer el Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Climático,[4] con la misión de desarrollar la capacidad de entender el impacto del cambio global presente y futuro en los ambientes regionales y continentales de América, y para promover la colaboración científica y proveer de información útil y de manera oportuna a los tomadores de decisiones.[22]

Líneas de investigación actuales

La investigación científica relacionada con el tema se puede clasificar en dos categorías principales: 1) la de las ciencias físicas como la climatología y la meteorología; y 2) la de las ciencias biológicas: la ecología, la fisiología, la biogeografía, etc. En el caso de las ciencias físicas se publica una gran cantidad de artículos en revistas científicas como Journal of Climate, Climate Dynamics, Bulletin of the American Meteorological Society y Geophysical Research Letters, entre otras. Los climatólogos enfrentan dos retos principales: distinguir el cambio climático provocado por actividades humanas de la variabilidad climática cíclica de origen natural, y predecir los probables escenarios climáticos del futuro mediante el uso de modelos generales de circulación. Por otra parte, en revistas como Nature, Science, Oecología, Journal of Biogeography, Ecological Applications, Plant Physiology, Trends in Ecology and Evolution, Journal of Ecology, entre otras, se publican artículos relacionados con impactos actuales y potenciales del cambio climático sobre ecosistemas y especies en particular.

En las ciencias biológicas se pueden distinguir tres principales líneas de investigación relacionadas con este tema: a) estudios sobre captura de carbono; b) desarrollo de modelos de predicción de posibles impactos que tendrá el cambio climático sobre especies animales y vegetales en particular, así como sobre comunidades y ecosistemas; y c) estudio sobre la respuesta de organismos al cambio climático. En México existen muy pocos estudios sobre las dos primeras: captura de carbono y modelos de predicción; la tercera, respuesta de los organismos, está aún menos explorada. Esto contrasta con la enorme cantidad de artículos científicos publicados sobre el tema a nivel internacional, principalmente durante los últimos 15 años.

Consecuencias biológicas

Desde hace poco más de 15 años empezaron a publicarse abundantes estudios sobre las posibles respuestas de los ecosistemas al cambio climático. Emanuel y cols.,[23] y Peters y Darling[24] fueron de los

primeros autores en abordar el tema y en indicar que el cambio climático podría originar grandes cambios en la distribución geográfica de biomas y extinción de muchas especies. Debe recordarse que los efectos de cambio climático se suman a los impactos que sobre la biosfera ha tenido nuestra especie, entre los que destacan deterioro de hábitat y sobreexplotación de especie.[25,26] Otros autores han señalado que entre los cambios más notables estarán la reducción de áreas boscosas en el planeta, expansión de bosques tropicales hacia trópicos y subtrópicos, y pérdida de bosques boreales.[27] Para México, los modelos de predicción de Villers y Trejo[28,29] estiman que los ecosistemas más susceptibles de reducir su área de distribución, debido al calentamiento global, son los bosques templados. Observaciones de campo en la Sierra Madre Occidental parecen indicar que, efectivamente, algunas especies arbóreas están reduciendo su área de distribución como respuesta a sequías, las cuales acaban directamente con poblaciones periféricas o las llevan a un estado de estrés que las hace más susceptibles a los ataques masivos por plagas y enfermedades.[18]

Las respuestas de organismos y de ecosistemas al cambio climático son tan variadas y complejas como los ecosistemas mismos. Cada especie responde de manera particular y sus repuestas afectan a su vez al resto de los componentes del ecosistema.[6,30] La gran mayoría de los estudios sobre respuesta de los organismos al cambio climático se han realizado de manera experimental, bajo condiciones controladas para evaluar la respuesta de especies individuales a factores climáticos o atmosféricos determinados.[31] Considerando dichos estudios en conjunto, se han encontrado tendencias que concuerdan con algunas predicciones teóricas acerca de la respuesta de la biota al cambio climático. Revisiones[1,4] y análisis amplios[2,3] de los resultados registrados en numerosos estudios experimentales y observacionales particulares, han permitido el acopio y el análisis de series de datos de largo plazo, de áreas geográficas diversas y que incluyen grandes cantidades de especies animales y vegetales. Mediante este tipo de análisis Parmesan[2] y Root[3] llegaron a conclusiones similares: existe un desplazamiento de especies hacia mayores altitudes y hacia los polos; y algunos eventos de primavera de los ciclos de vida de diversas especies, en las últimas décadas se están presentando más temprano. De las especies que están experimentando cambios en su distribución geográfica, la mayoría, 80%[3], se desplaza hacia los polos o hacia las partes más altas (6.1 Km por década);[2] algunos eventos del ciclo de vida como la floración en plantas y oviposición en insectos se están presentando más temprano en la primavera, 2.3 días por década,[2] lo que se correlaciona directamente con un aumento en la temperatura mínima local.[32] Sin embargo, también se encontró que de las más de 1500 especies consideradas en los análisis de Parmesan[2] y Root,[3] son muy pocas las que responden al rápido cambio climático, moviendo su rango de distribución, lo que sugiere que la velocidad del cambio climático rebasa la velocidad de las tasas de migración[33] de la mayoría de las especies, beneficiando de esta forma unas cuantas especies oportunistas de dispersión rápida.[6]

Después de la revisión de cientos de artículos científicos, coincidimos plenamente con la clasificación de Hughes[1] de las respuestas de la biota al cambio climático en cuatro categorías: 1) respuesta fisiológica, reflejada en cambios en procesos tales como fotosíntesis y tasas de crecimiento; 2) cambios en la distribución geográfica de especies y ecosistemas a causa del desplazamiento de las zonas climáticas hacia mayores altitudes y/o latitudes; 3) cambios fenológicos reflejados en alteraciones de los ciclos de vida de las especies por efecto del fotoperíodo o cantidad de horas frío y; 4) adaptación al nuevo medio mediante cambios microevolutivos *in situ*. Además, dado que las especies que no logren responder de alguna de estas maneras (aquéllas con rangos de tolerancia estrechos, de distribución restringida, o sin mecanismos de dispersión adecuados) tenderán a desaparecer por estrés fisiológico.[1,6,18] Los cambios fisiológicos, fenológicos, de distribución y la adaptación *in situ*, afectarán las relaciones interespecíficas actuales,[3,6,31] lo que a su vez desencadenará más cambios en la distribución así como la extinción de otras especies, dando lugar a notables cambios en la estructura y composición de las comunidades[1] (figura 3). Se estima que uno de los efectos más graves del cambio climático es la extinción de especies,[6, 19] y con ello el empobrecimiento de la biodiversidad y el deterioro de los procesos ecológicos que mantienen el funcionamiento de los ecosistemas actuales.

Prioridades de investigación

Quienes trabajamos con recursos naturales nos enfrentamos al reto de realizar estudios para detectar los efectos que el cambio climático está teniendo sobre la biosfera y para predecir y prevenir los efectos del mismo a futuro. Para ello se requiere continuar realizando estudios experimentales bajo condiciones controladas, así como experimentos observacionales que permitan conocer lo que está sucediendo en realidad en condiciones naturales. El mantenimiento y desarrollo de colecciones científicas y de bases de datos biológicos de largo plazo juegan un papel de gran importancia para validar predicciones y para realizar muchos de los estudios relacionados con la respuesta de los organismos al cambio climático, sobre todo los que abordan aspectos fenológicos y de distribución geográfica.

Algunas líneas de investigación que consideramos prioritarias son:

- Interacciones actuales entre organismos y predicción de interacciones futuras.
- Sucesión vegetal y recuperación a medida que los ecosistemas comienzan a adaptarse a las nuevas condiciones ambientales.
- Fenología en gradientes altitudinal, latitudinal y temporal.
- Cambios en distribución geográfica, desplazamiento de poblaciones (regeneración o propágulos).
- Ecotonos en gradientes altitudinal y latitudinal: factores determinantes de los mismos y proyecciones a futuro.
- Bancos de propágulos en el suelo.
- Respuesta al cambio climático por diferentes grupos funcionales.
- Análisis de los archivos naturales del clima como anillos de crecimiento de árboles y glaciares.
- Sistematización y análisis de la información disponible sobre respuesta de los organismos al cambio climático.

Lecturas recomendadas

El cambio climático y sus efectos sobre la biosfera son temas de los que se habla y se escribe en todo el mundo. En esta sección se enlistan artículos científicos selectos y algunas páginas de Internet, que en conjunto consideramos que darían al lector una panorámica completa de lo que se sabe en la actualidad sobre cambio climático, y de lo que a nivel internacional se está haciendo por conocer más al respecto.

Desde hace unas dos décadas empezaron a proliferar artículos científicos relacionados con este tema. El lector interesado podría realizar búsquedas electrónicas y encontraría cientos de referencias; recomendamos empezar por las siguientes: Mann y cols. (1998 y 1999),[7,9] Hughes (2000),[1] Jacoby y cols. (1997),[8] Bazzaz (1996),[6] Peters (1985),[24] Harrington y cols. (1999),[31] y Smith & Uppenbrink (2001).[34]

Por otra parte, en Internet se pueden encontrar páginas que abordan el tema. Sin embargo, vale la pena hacer notar que no todas ellas son objetivas y que algunas son evidentemente tendenciosas. Tres páginas con respaldo científico, objetivas y bien elaboradas son: La Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), http://www.grida.no/climate[20]; la Global Change and Terrestrial Ecosystem (GCTE), http://www.gcte.org;[21] y el sitio sobre calentamiento global de la Environmental Protection Agency de los Estados Unidos http://www.epa.gov/globalwarming.[35]

Resumen

El cambio climático que se experimenta en la actualidad es un fenómeno provocado total o parcialmente por el aumento de gases de invernadero en la atmósfera, principalmente CO_2 emitido por actividades humanas. Una gran cantidad de estudios científicos indican que el cambio climático ya está teniendo efectos sobre la biosfera. Con este documento se pretende proporcionar, de manera concisa, un panorama general del tema y guiar al lector hacia las principales fuentes de información científica disponibles.

Palabras clave: Cambio climático, Calentamiento global, Efecto de invernadero.

Abstract

Current climate change is due entirely or partially to the increase of greenhouse gases in the atmosphere. Those from human-based activities are the main culprit. Many scientific studies show that climate change is already having an impact on the biosphere. Here we attempt to provide, in a concise way, a general overview of the subject and guide

the reader to the main sources of scientific information available.

Keywords: Climate change, Global warming, Greenhouse effect.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento para Amorita I. Salas, Marco A. Márquez, Horacio Villalón, Marco Alvarado, José Duéñez y Cecilia Romero, por la revisión del primer borrador de este documento; a Jorge Tena, por su ayuda en la adaptación de las figuras. Agradecemos también a dos revisores anónimos por sus valiosas observaciones y sugerencias.

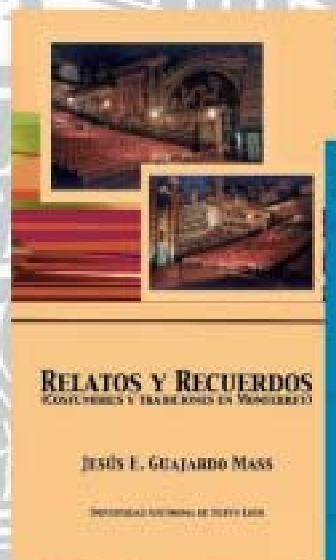
Referencias

1. Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?. Trends Ecol. Evol. 15(2):56-61.
2. Parmesan, C. & G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. Nature 421, 37 – 42.
3. Root, T.L., J.T. Price, K.R. Hall, S.H. Schneider, C. Rosenzweig & J.A. Pounds. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. Nature 421, 57 – 60.
4. Walther G.R.; E. Post, P. Convey, A. Menzel; C. Parmesan; T.J. Beebee; J.M. Fromentin; O. Guldberg & F. Bairlein. 2002. Ecological responses to recent climate change Nature 416, 389–395.
5. Miller, G.T. 1992. Living in the environment, an introduction to environmental science. Wadsworth Publishing Co., Belmont, California.
6. Bazzaz, F.A. 1996. Plants in Changing Environments. Linking physiological, population, and community ecology. Cambridge University Press. 320 pp.
7. Mann, M.E., R.S. Bradley, and M.K. Hughes. 1998. Global-Scale Temperature Patterns and Climate Forcing over the past six centuries. *Nature*, 392, pp.779-787.
8. Jacoby G.C., and D'Arrigo R.D.1997. Tree rings, carbon dioxide, and climatic change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 94(16): 8350-8353.
9. Mann, M.E., R. S. Bradley, and M. K. Hughes. 1999. Northern Hemisphere Temperatures During the Past Millennium; Inferences, Uncertainties, and Limitations. Geophys. Res. Lett. 26 (6), 759-762.
10. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001) Climate Change 2001: The Scientific Basis. (Houghton, J.T. *et al*. eds), Cambridge University Press.
11. Jones, P.D.; T.J. Osborn; K.R. Briffa. 2001. The evolution of climate over the last millennium. Science 292 (5517): 662-667.
12. Fedorov A.V. & S.G. Philander. 2000. Is El Niño changing ?. Science Vol. 288:1997-2002.
13. Watson R.T., H. Rodhe, H. Oeschger, U. Siegenthaler (1991). Green house gases and aerosols. In: Houghton J.T., G.J. Jenkins, J.J. Ephraums (eds.) Climate change, the IPCC scientific assessment, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1-40.
14. Bazzaz, F.A.; J.S. Coleman, and S.R. Morse. 1990. Growth responses of seven major co-occuring tree species of the northeastern United States to elevated CO2. Can. Journ. For. Res. 20(9): 1479-1484.
15. Jones, R.G., J.M. Murphy, M. Noguer & B. Keen. 1997. Simulation of climate change over Europe using a nested regional-climate model. II: Comparison of driving and regional model responses to a doubling of carbon dioxide. Q.J.R. Meteorol. Soc. 123, 265-292.
16. Labraga, J.C. 1997. The climate change in South America due to a doubling in the CO2 concentration: intercomparison of general circulation model equilibrium experiments. Int. J. Climatol., 17: 377-398.
17. Barnett, T.P., K. Hasselmann, M. Chelliah, T. Delworth, G. Hegerl, P. Jones, E. Rasmusson, E. Roeckner, C. Ropelewski, B. Santer y S. Tett. 1999. Detection and attribution of recent climate change: a status report. Bull. Am. Met. Soc. 80 (12): 2631-2659.
18. González Elizondo, M. S., M. González Elizondo, J. A. Tena Flores, I. L.López Enriquez y M. A. Márquez Linares. 2001. Cambios sucesionales en la vegetación de Durango. Memorias de la Segunda Reunión Estatal de Ciencia y Tecnología. COCyTED. 14-16 Noviembre 2001. Durango, Dgo. pp. 314-320.
19. Huntley, B. 1998. The dynamic response of

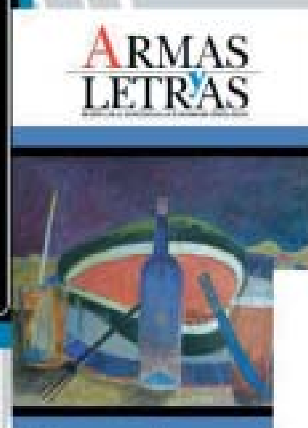
plants to environmental change and the resulting risks of extinction. In: Mace G.M., A. Balmford & J.R. Ginsberg (eds.) Conservation in a Changing World. Cambridge University Press. pp. 69-85.
20. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), http://www.grida.no/climate
21. Global Change and Terrestrial Ecosystem (GCTE), http://www.gcte.org
22. Inter-American Institute for Global Change Research, http://www.iai.int
23. Emanuel, W.R., H.H. Shugart, M.L. Stevenson. 1985. Climate change and the broad-scale distribution of terrestrial ecosistem complexes. Clim. Change 7: 29-43.
24. Peters, R.L. & J. D.S. Darling. 1985. The greenhouse effect and Nature Reserves. BioScience 35(11): 707-717.
25. Jurado, E., Jiménez, J. y Treviño, E. 1998. Biodiversidad en peligro. CIENCIA UANL 1:43-47.
26. Vitousek-P.M. 1994. Beyond global warming: ecology and global change. Ecology 75: (7) 1861-1876.
27. Solomon, A.M. 1986. Transient response of forests to CO2 induced climate change: simulation modeling experiments in eastern North America. Oecologia 68: 567-579.
28. Villers-Ruiz, L. and I. Trejo Vázquez. 1997. Assessment of the vulnerability of forest ecosistems to climate change in México. Climate Research 9: 87-93.
29. Villers-Ruiz, L. & I. Trejo Vázquez. 1998. Impacto del cambio climático en los bosques y áreas naturales protegidas de México. Interciencia 23(1): 10-19.
30. Hobbie S.E., A. Shevtsova & S. Chapin. 1999. Plant responses to species removal and experimental warming in Alaskan tussok tundra. Oikos 84(3): 417-434.
31. Harrington, R., I. Woiwod, and T. Sparks. 1999. Climate Change and Trophic Interactions. Trends Ecol. Evol. 14(4):146-150.
32. Mones S., Peterson P.M., S.G. Shetler & S.S. Orli. 2001. Earlier plant flowering in spring as a response to global warming in the Washington, D.C. area. Biodiversity and Conservation 10:597-612.
33. Malcolm J.R., A. Markham, R.P. Neilson & M. Garaci. 2002. Estimated migration rates under scenarios of global climate change . Journal of Biogeography 29(7): 835
34. Smith, J. & J. Uppenbrink. 2001 (eds). Earth's variable climatic past. Science 292 (5517): 657-693.
35. Environmental Protection Agency de Estados Unidos http://www.epa.gov/globalwarming

Dirección de Publicaciones

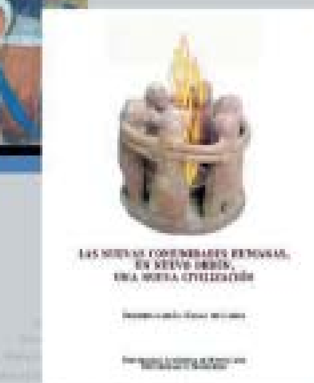
publicaciones recientes:







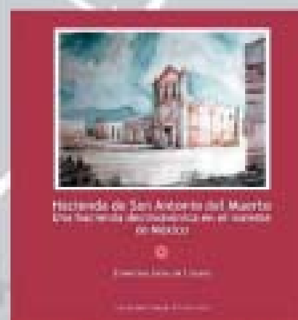




próxima aparición:







Informes y ventas:
Dirección de Publicaciones
Biblioteca Magna Universitaria
"Raúl Rangel Frías"
Av. Alfonso Reyes
Núm. 4000 Nte.
Monterrey, N.L. C.P.66440
Tel. (01) 83 29 41 11
Fax. 83 29 40 95